

学校编码: 10384
学 号: 22220051302378

分类号__密级__
UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

步进电机驱动控制技术
及其应用设计研究

Control Technology of Stepper Motor Driver
and its Design for Applications

陈志聪

指导教师姓名: 郭东辉 教授

专 业 名 称: 电路与系统

论文提交日期: 2008 年 5 月

论文答辩时间: 2008 年 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2008 年 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。
本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

摘 要

步进电机是一种将电脉冲信号转化为机械角位移或者线位移的机电元件,它能够在不涉及伺服系统复杂反馈环路的情况下实现良好的定位精度,并且具有性价比高、易于控制以及无积累误差等优点,在民用、工业用的经济型数控开环定位系统中获得了广泛的应用,具有较高的实用价值。本论文在研究步进电机的特性、构造、工作原理及关键驱动技术的基础之上,针对具体的应用需求,开发出了多款基于单片机的步进电机驱动控制器,最后将步进电机应用于芯片显微自动拍照系统当中,实现了芯片显微拍照的自动化。

本论文主要开发了以下几个步进电机相关的项目:

(1) 两相永磁式步进电机测试仪器。该仪器采用了恒压驱动方式,具有定频、变频、触发以及循环四种测试模式,并可通过由按键及液晶显示模块构成的人机交互界面灵活设置工作参数。

(2) 五相混合式步进电机驱动器。该驱动器采用恒总流斩波驱动方式,能够使步进电机运转更加平稳、牵出转矩更大。

(3) 两相混合式步进电机三维细分驱动控制器。该驱动控制器采用了正弦细分驱动方式,能够同时对三个步进电机进行可变细分驱动以及自动升降速控制,主要应用于三维定位系统当中。

(4) CAN-RS232 以及 USB-RS232 透明协议转换模块。采用这两模块可将传统的基于 RS232 和 RS485 总线的主从式通讯方式,升级为基于 CAN 总线的多主通讯方式,从而大大提高通讯系统的实时性。

(5) 芯片显微自动拍照系统。该显微自动拍照系统硬件部分主要由三维细分驱动器、三维电控位移台、显微镜、CMOS 摄像头以及计算机构成。

关键词: 步进电机; 正弦细分驱动; 运动控制

ABSTRACT

Stepper motor is a kind of electromechanical component that can turn electrical pulse into mechanical angular displacement or linear displacement. Associated with servo systems, it can achieve good positional accuracy without complicated feedback loops, are easy to control and of high cost performance, have no accumulative error. Thus stepper motor is widely used in economy numerical control positioning system. In this thesis, we first introduce the characteristic, structure, working principle of stepper motor. After that, we adopt MCU to develop several drivers for stepper motor. At last, we apply the stepper motor to the system of automatic microscopic IC photo taking.

In this thesis, we develop several projects about the stepper motor as following:

(1) Testing instrument for 2 phase permanent magnet stepper motor. The instrument adopts driving method of constant voltage and has fixed frequency, variable frequency, trigger and endurance four kinds of test modes. Its working parameter can be set via the man-machine interface constituted by button and LCM.

(2) 5 phase hybrid stepper motor driver. The driver adopts driving method of constant total current chopped wave, can make the motor work more smoothly and output higher torque.

(3) 3-dimensional subdivided driver for 2 phase hybrid stepping motor. The driver adopts driving method of sinusoidal subdivided constant current chopped wave, can drive 3 stepping motors simultaneously.

(4) CAN-RS232 and USB-RS232 transparent protocol conversion modules. These two modules can be used to update the communication method from master-slave mode based on RS485 to multi-hosting mode based on CAN. By this way, the real-time capability of communication can be improved observably without changing the RS232 interface.

(5) Automatic microscopic chip photo taking system. The hardware section of the system mainly consists of 3-dimensional subdivided driver, motorized translation stage, microscope, CMOS camera and computer.

Key Words: Stepper Motor; Sinusoidal Subdivided Driving; Motion Control

目录

第一章 绪论	1
1.1 步进电机概述	1
1.2 步进电机工作原理	2
1.2.1 磁阻式步进电机	3
1.2.2 永磁式步进电机	4
1.2.3 混合式步进电机	5
1.3 国内外发展概况与趋势	6
1.4 关键技术问题	8
1.4.1 正弦细分驱动技术	8
1.4.2 脉冲宽度调制技术	9
1.4.3 升降频控制技术	10
1.5 本论文的工作内容	11
第二章 两相永磁式步进电机测试仪器的开发	12
2.1 设计要求	12
2.1.1 驱动方式	12
2.1.2 励磁方式	13
2.1.3 测试模式	14
2.2 硬件设计	15
2.2.1 电源模块	16
2.2.2 单片机控制模块	16
2.2.3 步进电机驱动模块	18
2.2.4 按键及液晶显示模块	20
2.3 软件设计	21
2.3.1 Atmega16L 开发环境	21
2.3.2 转动控制	22
2.3.3 测试模式	23
2.4 实验结果及分析	24
2.5 本章小结	25
第三章 五相混合式步进电机驱动器的设计	26
3.1 整体介绍	26
3.1.1 驱动器输入信号	27
3.1.2 四五相励磁方式	28
3.1.3 斩波恒总流功率放大	29
3.2 硬件设计	32
3.2.1 SI7502 驱动电路	32
3.2.2 光耦隔离电路	33
3.2.3 Atmega8L 外围电路	34
3.2.4 电源管理电路	34
3.3 软件设计	35
3.3.1 Atmega8L 软件开发环境	35

3.3.2 程序设计.....	36
3.5 实验结果及分析	37
3.4 本章小结	39
第四章 两相混合式步进电机三维细分驱动器的开发	40
4.1 整体介绍	40
4.1.1 系统框图.....	40
4.1.2 正弦细分驱动.....	41
4.1.3 功能介绍.....	43
4.2 硬件设计	44
4.2.1 PIC16F877 外围电路.....	45
4.2.2 恒流斩波驱动电路.....	46
4.2.3 DA 转换电路.....	49
4.2.4 按键检测电路.....	50
4.3 软件设计	51
4.3.1 PIC16F877 开发环境.....	52
4.3.2 正弦细分控制.....	53
4.3.3 升降速控制.....	55
4.4 通讯协议设计	57
4.4.1 帧格式.....	57
4.4.2 通讯行为.....	58
4.4.3 功能定义.....	59
4.5 实验结果及分析	61
4.6 本章小结	64
第五章 RS232-CAN 和 RS232-USB 协议模块的设计	65
5.1 CAN 及 USB 介绍.....	65
5.1.1 CAN 总线.....	65
5.1.2 USB 总线.....	66
5.2 方案设计	67
5.2.1 基于 USB、CAN 和 RS232 的通信方案.....	67
5.2.2 USB-RS232 协议转换模块.....	69
5.2.3 CAN-RS232 协议转换模块.....	70
5.3 硬件设计	71
5.3.1 CAN-RS232 电路设计.....	71
5.3.2 USB-RS232 电路设计.....	73
5.4 软件设计	73
5.3.1 STC89C54RD+开发环境介绍.....	74
5.3.2 CAN-RS232 程序设计.....	74
5.5 本章小结	76
第六章 芯片显微自动拍照系统的实现	77
6.1 应用背景	77
6.2 系统总体设计	77
6.2.1 系统构成.....	77

6.2.2 工作流程.....	78
6.3 运动控制模块.....	79
6.4 图像获取模块.....	81
6.5 软件界面及运行结果.....	83
6.6 本章小结.....	85
第七章 总结与展望.....	86
7.1 总结.....	86
7.2 展望.....	87
参考文献.....	88
致谢.....	90

CONTENTS

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Overview of Stepppter Motor	1
1.2 Working Principle of Stepppter Motor	2
1.2.1 Variable Reluctance Stepppter Motor	3
1.2.2 Permanet Magnet Stepppter Motor	4
1.2.3 Hybrid Stepppter Motor	4
1.3 Research Status and development trend	6
1.4 Key Technology	8
1.4.1 Sine Subdivision Drive Technology	8
1.4.2 Pulse Duration Modulation	9
1.4.3 Accelerate or Decelerate Speed Control Technology	10
1.5 Main Contents and Synopsis in This Thesis.....	11
Chapter 2 The Development of Tester for Two-phase Permanet Magnet Stepppter Motor.....	12
2.1 Design Requirments	12
2.1.1 Drive Mode	12
2.1.2 Excitation Type	13
2.1.3 Test Pattern.....	14
2.2 Hardware Design	15
2.2.1 Power Module	16
2.2.2 MCU Module	16
2.2.3 Stepper Motor Driving Module.....	18
2.2.4 Button and LCD Module	20
2.3 Software Design	21
2.3.1 Development Environment of Atmega16L.....	21
2.3.2 Rotation Deriction Control	22
2.3.3 Test Mode.....	23
2.4 Expermental Results and Analysis.....	24
2.5 Brief Summary of This Chapter	25
Chapter 3 The Design of Driver for Five-Phase Hybird Stepper Motor.....	26
3.1 Description of System.....	26
3.1.1 Input Signal	27
3.1.2 Excitation Type	28
3.1.3 Power Amplification	29
3.2 Hardware Design	32
3.2.1 SI7502 Driving Circuit	32
3.2.2 Optically Coupled Isolation Circuit	33
3.2.3 Peripheral Circuit of Atmega8L.....	34
3.2.4 Power Management Unit	34
3.3 Software Design	35

3.3.1 Development Environment of Atmega8L.....	35
3.3.2 Program Design	36
3.5 Experimental Results and Analysis.....	37
3.4 Brief Summary of This Chapter	39
Chapter 4 The Development of Three-dimensional Subdivision Driver for Two-phase Hybird Stepper Motor.....	40
4.1 Description of System.....	40
4.1.1 Systematic diagram.....	40
4.1.2 Sine Subdivision Drive	41
4.1.3 Function Information	43
4.2 Hardware Design	44
4.2.1 Peripheral Circuit for PIC16F877	45
4.2.2 Constant Current Cutting Wave Drive Module.....	46
4.2.3 D/A Module	49
4.2.4 Keypad Detection Module	50
4.3 Software Design	51
4.3.1 Development Environment of PIC16F877	52
4.3.2 Sine Subdivision Drive	53
4.3.3 Speed Up and Speed Down Control.....	55
4.4 Communication Protocol	57
4.4.1 Frame Format.....	57
4.4.2 Communication Action	58
4.4.3 Function Definition	59
4.5 Experimental Results and Analysis.....	61
4.6 Brief Summary of This Chapter	64
Chapter 5 The Design of RS232-CAN and RS232-USB Module	65
5.1 Introduction of CAN and USB	65
5.1.1 CAN Bus	65
5.1.2 USB Bus.....	66
5.2 Schematic Design	67
5.2.1 Communication Base USB、CAN and RS232	67
5.2.2 USB-RS232 Protocol Conversion Module	69
5.2.3 CAN-RS232 Protocol Conversion Module	70
5.3 Hardware Design	71
5.3.1 CAN-RS232 Protocol Conversion Circuit.....	71
5.3.2 USB-RS232 Protocol Conversion Circuit	73
5.4 Software Design	73
5.3.1 Development Environment of STC89C54RD+	74
5.3.2 CAN-RS232 Program	74
5.5 Brief Summary of This Chapter	76
Chapter 6 Realization of Automatic Microscopic IC Photo Taking System.....	77
6.1 Application Background	77

6.2 Overall Design of The System	77
6.2.1 Configuration of The System.....	77
6.2.2 Workflow.....	78
6.3 Motion Control Module.....	79
6.4 Image Capturing Module	81
6.5 Software Interface and Operation Result	83
6.6 Brief Summary of This Chapter	85
Chapter 7 Summary and Prospect	86
7.1 Summary	86
7.2 Prospect	87
References	88
Acknowledgements	90

第一章 绪论

步进电机是一种将电脉冲信号转化为机械角位移或者线位移的控制电机,它能够在不涉及复杂反馈环路的情况下实现良好的定位精度,并由于具有价格低廉、易于控制、无积累误差等优点,在民用、工业用的经济型数控定位系统中获得了广泛的应用,具有较高的实用价值。为了强调本论文的实用性及可行性,本章综述了步进电机的各种特性;说明了步进电机的构造、工作原理及驱动;回顾了步进电机在国内外发展及应用的概况;分析了本论文所要重点研究的正弦脉冲宽度调制 (SPWM) 细分驱动、及升降频运动控制等关键技术;最后,介绍了本论文的研究内容以及其它章节的结构安排。

1.1 步进电机概述

基于电机的运动控制技术作为自动化领域的关键部分,在国民经济当中起着重要的作用。随着现代科学技术的进步,尤其是集成电路、电力电子器件、自动化控制理论等方面的进展,电机在其实际应用中已由过去简单地控制转动停止、以提供动力为目的的应用上升到对速度、加速度、位移和转矩等进行精确控制阶段,以便使被驱动的机械运动准确符合预想的要求。

步进电机正好能够很好地符合这种需求,它是一种将数字脉冲信号转化为机械角位移或者线位移的数模转换控制电机。通常所说的步进电机一般是指机电一体化设备包括步进电机及其驱动器,当步进电机驱动器接受到一个脉冲之后就驱动步进电机转动一个固定的角度即步距角。步进电机不像其它电机那样连续旋转而是以一定的步距角一步一步做增量运动因此而得名。所以通过控制脉冲个数来控制步进电机转动的角位移,达到精确定位的目的;同时也可以通过控制脉冲的频率来控制步进电机转动速度和加速度,达到调速的目的。除此之外步进电机还具有以下一些优点[1~6]:

- (1) 无刷: 步进电机是无刷结构电机,与带有换向器和电刷等易损部件的传统有刷电机相比而言可靠性更高;
- (2) 与负载无关: 不超载时步进电机能够按照设定的速度运行;
- (3) 动态响应快: 易于启动、停止和反转;

(4) 保持转矩： 停止时能够自锁；

(5) 无累积误差： 虽然步进电机每转动一步的角位移与标称的步距角具有一定的误差（3~5%），但是转动一周后累积的误差和为零。

(6) 步距角与环境无关： 步进电机的固有步距角是由本身构造决定的，与温度、电压、电流等使用环境无关。

(7) 易于控制： 只需控制脉冲的频率和个数，即可达到定位、调速目的。

(8) 价格低廉： 步进电机相对于同样用于定位领域交、直流伺服电机而言具有较高的性价比。

正是由于这些优点，使得由步进电机及其驱动控制器构成的开环数控定位系统，既具有较高的控制精度，良好的控制性能，又能稳定可靠地工作。与同样应用于定位领域的交、直流伺服电机构成闭环伺服系统相比较而言，主要优势在于性价比高和驱动控制简单，但是性能上却具有以下明显的不足之处[1~6]：

(1) 低速转动时振动和噪声都比较大；

(2) 输出力矩随着转动速度的升高而降低；

(3) 启动频率不能太高，否则会堵转并伴随有呼啸声；

(4) 速度突变较大时存在丢步和过冲现象；

(5) 最高运动速度较低，且高速运转时输出力矩小。

(6) 开环控制，不能保证实际转动的角度与设想的完全一致。

虽然步进电机有这些缺点，但是并不影响其在经济型的数控装置上的使用。现在比较常用的步进电机主要有反应式步进电机、永磁式步进电机和混合式步进电机。永磁式步进电机一般为两相，转矩和体积较小，步进角一般为7.5度 或15度，振动和噪音小；反应式步进电机一般为三相，可实现大转矩输出，步进角一般为1.5度，但噪声和振动都很大；混合式步进电机混合了永磁式和反应式的优点，步距角小、转矩大且振动、噪音小，它主要又分为两相和五相：两相步距角一般为1.8度而五相步进角一般为 0.72度。

1.2 步进电机工作原理

目前步进电机的种类繁多，性能特点也各有差异，但按照基本构造和工作原理可分为三种类型：磁阻式(亦称反应式)，即VR型（Variable Reluctance）；永磁

式（亦称爪极式），即PM(Permanent Magnet)；混合式，即HB(Hybrid)。以下将就这三种类型步进电机的构造以及基本驱动原理做简要的描述。

1.2.1 磁阻式步进电机

磁阻式步进电机通常也可称为反应式步进电机，其定转子均采用齿状结构，定子每个极上都绕有线圈，转子则是由软铁材料制成的。其基本原理是绕组通电励磁之后会产生一个转矩迫使转子转动到磁通路径磁阻最小的位置。为了更好的说明磁阻式步进电机的工作原理，图1.2展示了简化的三相反应式步进电机，其定子上有八个极，转子只有四个小齿，步距角为 30° 。当绕组1通电时，为了保持其磁通路径磁阻最小，将产生一个转矩迫使X与之对齐；接着若绕组1断电、绕组2通电，则转子将顺时针转动使得Y与绕组2对齐保持磁通路径磁阻最小。实际上的步进电机可通过增加定子极数或者转子的齿数来减少步距角，例如图1.1所示的是四相反应式步进电机的横截面示意图，其定子上有八个极，每个极上分布有5个小齿，转子有50个小齿，步距角为 1.8° 。

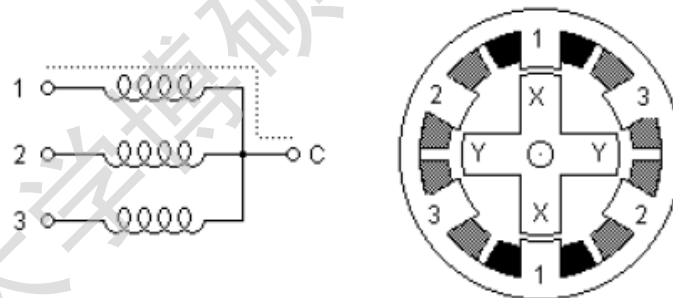


图1.1 四相反应式步进电机横截面示意图[5]

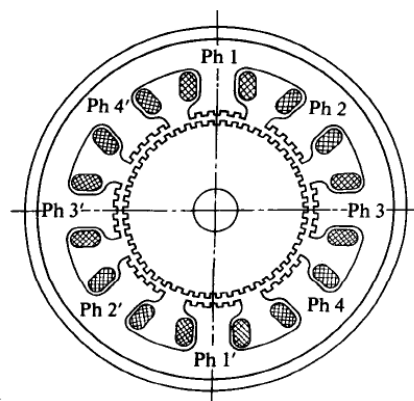


图1.2 三相反应式步进电机示意图[5]

1.2.2 永磁式步进电机

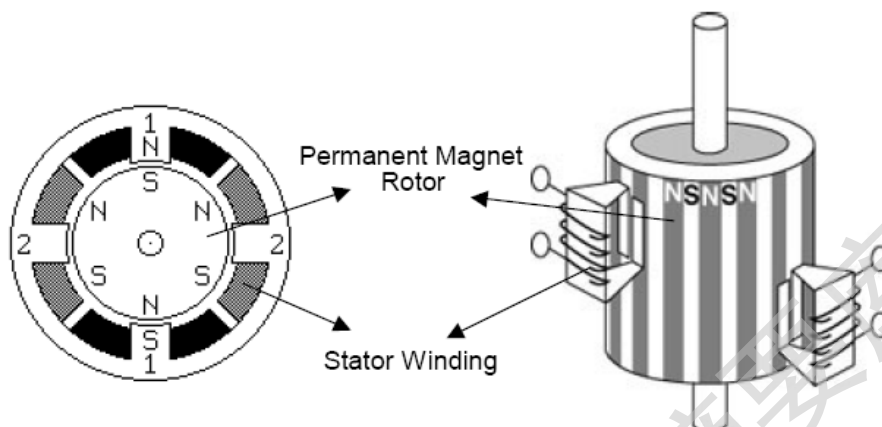


图1.3 永磁式步进电机结构示意图[7]

如图1.3所示，永磁式步进电机转子为N极、S极相间的永磁体，由于定子极冲制成爪型因而又名爪极式步进电机。其基本工作原理是转子上的永磁体建立的磁场和定子绕组电流激励的磁场相互作用，形成的同性相斥、异性相吸的电磁转矩，当绕组励磁产生的合磁场发生旋转时，转子也会跟着同步转动起来。如图1.4



图1.4 两相永磁式步进电机实物解剖图

所示永磁式步进电机的定子是由绕满漆包线的注塑骨架套在爪极板上构成的，当绕组通电励磁后定子上爪极就会被磁化为N极或者S极，从而与转子的N极和S极相互作用形成电磁转矩。永磁式步进电机相对于反应式步进电机来说，具有控制

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库